

## 明 細 書

### 放電加工機の加工条件最適化方法

#### 技術分野

- [0001] この発明は、被加工物(加工対象物)と加工電極とを微少な加工間隙を介して対向させ、被加工物と加工電極との間隙にパルス状電圧を印加して加工を行う放電加工機に関するものであり、特に、加工条件を加工液物性の変化に従い自動的に最適化する放電加工機の加工条件最適化方法に関するものである。

#### 背景技術

- [0002] 一般に、放電加工では加工による金属屑、水、カルボン酸の発生等により加工液が劣化して加工液の体積抵抗率が低下する。この体積抵抗率の低下により異常放電してアーク電流が流れるようになると、加工速度が低下したり被加工物の加工表面が変質するという課題がある。

従来の放電加工方法としては、異常放電を回避するために、加工間隙の電圧をモニタリングして、基準値から外れるとサーボコントロールによって、正常放電が可能となるような加工間距離となるサーボ基準値を与えるものがある(例えば、特許文献1参照)。

- [0003] 特許文献1:特開平6-262435号公報(第2頁～第4頁、図1、図5)

- [0004] 従来の放電加工方法は以上のように構成されているので、異常放電の回避は可能になるが、放電時間、休止時間等の加工条件の最適化はなされておらず、十分な加工特性を得ることはできない。一般に、放電加工機では少なくとも加工速度、低電極消耗、ワーク面質の3つの加工特性を満たすことが必要であり、従来例では、主に異常放電によるワーク面質の悪化を回避する放電加工方法であり、他の加工特性(加工速度、低電極消耗)は十分ではないなどの課題があった。

- [0005] この発明は上記のような課題を解決するためになされたもので、加工液の種類や劣化度に関係なく、異常放電によるワーク面質の悪化を回避するのみならず、加工速度および低電極消耗も満たす放電加工機の加工条件最適化方法を得ることを目的とする。

## 発明の開示

[0006] この発明に係る放電加工機の加工条件最適化方法は、放電加工時における一定時間内での平均的な放電電圧を検出し、新品加工液を用いた放電電圧、新品加工液の体積抵抗率および放電電流の関係から、その検出された放電電圧が新品加工液を用いた放電電圧と同じになるための放電電流を求め、最適の加工条件となる放電電流、放電時間、休止時間およびサーボ基準電圧の関係から、求められた放電電流に応じた放電時間、休止時間およびサーボ基準電圧を求めるようにしたものである。

このことによって、加工液の物性に応じた放電時間、休止時間およびサーボ基準電圧の最適の加工条件を求めることができ、その最適な加工条件で加工することにより、加工液の種類や劣化度に関係なく、異常放電によるワーク面質の悪化を回避する。

[0007] のみならず、加工速度および低電極消耗も満たす常に最高の加工特性を得ることができる効果がある。

## 図面の簡単な説明

[図1] この発明の実施の形態1による放電加工機を示す構成図である。

[図2] 荒加工速度と体積抵抗率との関係を示す特性図であり、AおよびCは新品の場合、A劣化品は3年使用の場合、C劣化品は1年使用の場合を表す。

[図3] 仕上げ面粗さと体積抵抗率との関係を示す特性図であり、AおよびC、並びにA劣化品およびC劣化品は図2の場合と同様である。

[図4] この発明の実施の形態1による放電加工機の加工条件最適化方法を示すフローチャートである。

[図5] (a) は正常放電時、(b) は異常放電時の電圧波形を示す波形図であり、

[0008]  $V_g$  は無負荷電圧、OFF は休止時間、ON は放電時間、 $e_g$  は放電電圧、 $T_d$  は無負荷放電時間、SV はサーボ基準電圧を表す。

## 発明を実施するための最良の形態

以下、この発明をより詳細に説明するために、この発明を実施するための最良の形態について、添付の図面に従って説明する。

実施の形態1.

図1はこの発明の実施の形態1による放電加工機を示す構成図であり、図において、加工槽1内には、i-パラフィン系炭化水素等の加工液2が満たされ、その中にワーク(被加工物)3が配置されている。サーボ4の先端には、加工用電極5が設けられ、サーボコントロール部6から発生されるサーボ基準電圧により、加工用電極5お

ーク3間の間隙が制御され、加工用電極5に電圧を印加することにより、加工用電極5から加工液2を介してワーク3に放電が発生しワーク3を加工する構成となっている。

放電電圧検出部7は、その放電電圧を検出すると共に、一定時間内での平均放電電圧を求める。最適加工条件計算部8は、平均放電電圧、体積抵抗率、放電電流および加工間隙の関係式から、放電電圧検出部7で検出された平均放電電圧が新品加工液を用いた平均放電電圧と同じになるための放電電流を求め、加工条件データベース記憶部9に記憶された最適の加工条件となる放電電流、放電時間、休止時間およびサーボ基準電圧の関係式から、求められた放電電流に応じた放電時間、休止時間およびサーボ基準電圧を求め、加工時にはサーボコントロール部6を通じてその最適の加工条件でサーボ4および加工用電極5を制御するものである。

[0009] 次に動作について説明する。

この実施の形態1で用いられる加工液は、放電加工機、特に形彫放電加工機で使用されるものである。形彫放電加工液に要求される性能として以下の7点が挙げられる。

- (1) 粘度が低く、加工屑やタール等を放電ギャップ外に放出しやすいこと
- (2) 絶縁性に優れること
- (3) 冷却性に優れること
- (4) 臭気が低く作業者に対して不快を与えないこと
- (5) 火点、沸点が高いこと
- (6) 化学的に安定であり、有害なガスを出さないこと
- (7) 加工機、ワークを腐食しないこと

これらの性能を考慮し、低粘度の炭化水素系化合物あるいは低粘度の炭化水素系化合物に酸化防止剤や冷却特性向上剤等を添加した加工液が一般に使用されている。加工液は、放電エネルギーにより熱劣化や酸化劣化し、分解物、重合物、脂肪酸、脂肪酸金属塩等を生成するため、使用時間に応じて物性が変化する。

加工条件は、新品の加工液の体積抵抗率、粘度等の物性を考慮して設定することが一般的であることから、加工液が劣化して体積抵抗率が低下すると絶縁が十分に回復しないため、集中放電してワークにシミ(黒い点)等が発生し、加工特性が低下し

て初期の加工特性が得られなくなる。従って、加工液の種類や劣化度に関係なく十分な加工特性を得ることが重要となる。

[0010] 図2は荒加工速度と体積抵抗率との関係を示す特性図、図3は仕上げ面粗さと体積抵抗率との関係を示す特性図であり、この発明の発明者らが形彫放電加工液の新品と劣化品とに関して加工液物性と加工特性(加工速度と加工後のワークの仕上げ面粗さ)を詳しく分析・評価した結果である。

図2に示したように、加工液の劣化に伴い、体積抵抗率が低下するが、逆に荒加工速度が向上しているのが分かる。例えば、体積抵抗率が $1. \text{E} + 14$ から $1. \text{E} + 13$ に低下すると、荒加工速度は約1.6倍増加している。これは、加工液は、放電エネルギーにより熱劣化や酸化劣化し、分解物、重合物、脂肪酸、脂肪酸金属塩等や加工屑(金属粉)を生成するため体積抵抗率が低下するものと考えられ、この時、放電加工から見ると通電性が向上したことにより、絶縁破壊までの時間が短くなり、その結果、加工速度が向上したものと考えられる。

また、図3に示したように、体積抵抗率が低くなると仕上げ面粗さは悪くなるのが分かる。これは、加工液が劣化して体積抵抗率が低下すると絶縁が十分に回復しないため集中放電し、ワークにシミ(黒い点)等が発生するため、加工面質は低下し、面粗さが低下したものと考えられる。

このように、加工液の種類や加工液の劣化度により加工液の体積抵抗率が異なるため、同一条件で加工しても、加工液の体積抵抗率が異なれば同じ加工特性が得られないため、要求する加工特性を得るには加工液の体積抵抗率に応じて加工条件を変更する必要がある。例えば、体積抵抗率が低下した劣化加工液では新品加工液と比較して絶縁回復が遅いため、集中放電が発生する。よって、新品加工液と同等の加工特性を得るには、その時の加工液の体積抵抗率に対応した最適加工条件で加工することが必要になる。

[0011] 図4はこの発明の実施の形態1による放電加工機の加工条件最適化方法を示すフローチャート、図5は正常放電時と異常放電時との電圧波形を示す波形図である。

以下、図1、図4、図5を参照しながら放電加工機の加工条件最適化方法について説明する。

先ず、最適加工条件計算部8では、加工槽1内で用いられる加工液2が新品加工液ならば、その新品加工液に応じた加工条件を設定し、前回使用された加工液ならば、その前回使用時の最新の加工条件を設定する(ステップST1)。ここで、加工条件とは、放電時間、休止時間およびサーボ基準電圧であり、各加工条件は、加工条件データベース記憶部9に記憶されたものを読み出すことにより得られる。

図5(a)に示すように、サーボコントロール部6では、設定されたサーボ基準電圧SVをサーボ4に発生することにより、加工用電極5およびワーク3間の間隙を制御すると共に、加工用電極5に無負荷電圧Vgを印加することにより、無負荷放電時間Td後に加工用電極5およびワーク3間における加工液2を絶縁破壊して放電させる。サーボコントロール部6では、設定された放電時間ONだけ放電電圧egおよび放電電流Ipを発生し、この放電電流Ipによりワーク3を溶解し加工する。加工と共にワーク3の加工屑が発生するが、加工中における加工液2の気化・爆発によりその加工屑を吹き飛ばす。その結果、加工液2の絶縁が低下するが、サーボコントロール部6では、設定された休止時間OFFだけ電圧の発生を休止することにより、加工液2の絶縁を回復させ、その後、再び加工用電極5に無負荷電圧Vgを印加する。

[0012] 放電電圧検出部7では、この加工時における放電電圧egを検出すると共に、一定時間内での平均放電電圧egavを求める(ステップST2:放電電圧検出工程)。

この種の形彫放電加工機では、放電電流Ipが一定になるように回路設計されているので、図5(b)の異常放電時の電圧波形に示すように、加工液2が劣化して異常放電が発生するような状態では、加工液2の体積抵抗率Rが低下しているため、次式(1)に示す関係式から分かるように平均放電電圧egavは低下する。

$$egav[V/cm] = R * Ip / (\text{加工間隙}) \quad (1)$$

最適加工条件計算部8では、上記式(1)に示した関係式から、放電電圧検出部7で検出された平均放電電圧egavが新品加工液を用いた平均放電電圧と同じになるための放電電流Ipを求める(ステップST3:放電電流演算工程)。これは、例えば、加工条件データベース記憶部9に、新品加工液を用いた平均放電電圧と放電電流とを記憶しておき、加工液2の劣化により放電電圧検出部7で検出された平均放電電圧egavが新品加工液を用いた平均放電電圧に対して3/4倍になれば、新品加工液を

用いた平均放電電圧と同じになるための放電電流 $I_p$ は、新品加工液を用いた放電電流に対して $4/3$ 倍となることから求めることができる。なお、放電電流 $I_p$ については一定になるように回路設計されているので、平均放電電圧 $egav$ と共に放電電流 $I_p$ を検出して、その検出した放電電流 $I_p$ に対して $4/3$ 倍としても良い。

[0013] 最適加工条件計算部8では、ステップST3で求められた放電電流 $I_p$ と、鋭意研究により導き出した次式(2)～(4)に示した関係式とから最適の加工条件を求める(ステップST4:最適加工条件演算工程)。

$$ON = A * I_p - B$$

$$(A, B \text{ は係数で、} A=7\sim 10, B=1.0\sim 3.5) \quad (2)$$

$$OFF = C * \exp(D * ON)$$

$$(C, D \text{ は係数で、} C=25\sim 35, D=0.01\sim 0.02) \quad (3)$$

$$SV = E * ON^F$$

$$(E, F \text{ は係数で、} E=200\sim 250, F=0.2\sim 0.4) \quad (4)$$

但し、ONは放電時間、OFFは休止時間、SVはサーボ基準電圧、 $I_p$ は放電電流、 $^F$ は累乗を示す。

上記式(2)～(4)に示した関係式は、加工条件データベース記憶部9に記憶されており、最適加工条件計算部8では、放電電流 $I_p$ が決定されれば、最適な放電時間ON、休止時間OFFおよびサーボ基準電圧SVを求めることができる。

その後、加工時にはサーボコントロール部6を通じてその最適の加工条件でサーボ4および加工用電極5を制御し、3つの加工特性、すなわち、加工速度、低電極消耗、ワーク面質を満たしているか検査し、3つの加工特性のうちのいずれかが満たされていない場合、最適加工条件設定に不備があったとして、ステップST2に戻り、加工条件の最適化をもう一度やりなおす。3つの加工特性が全て満たされている場合、加工条件の最適化を終了する(ステップST5)。

なお、演算された加工条件を加工条件データベース記憶部9に逐次上書きして記憶するものとし、次回に継続して同一の加工液を使用する場合のために、最新の加工条件を記憶しておくようにする。

[0014] 以上のように、この実施の形態1によれば、一定時間内での平均的な放電電圧 $ega$

vを検出し、新品加工液の放電電圧 $egav$ と同じになる放電電流 $I_p$ を演算し、求めた放電電流 $I_p$ と加工条件データベース記憶部9に記憶された関係式とより、加工液2の物性に応じた最適な加工条件を算出し、その最適な加工条件での加工を可能にしたので、加工液の種類や劣化度に関係なく、加工速度、低電極消耗、ワーク面質を満たす常に最高の加工特性を得ることができる。

また、放電加工中に図4に示した加工条件の最適化を所定時間間隔毎に逐次行えば、加工液物性が時々刻々と変化しても、常に最高の加工特性を得ることができる。

#### 産業上の利用可能性

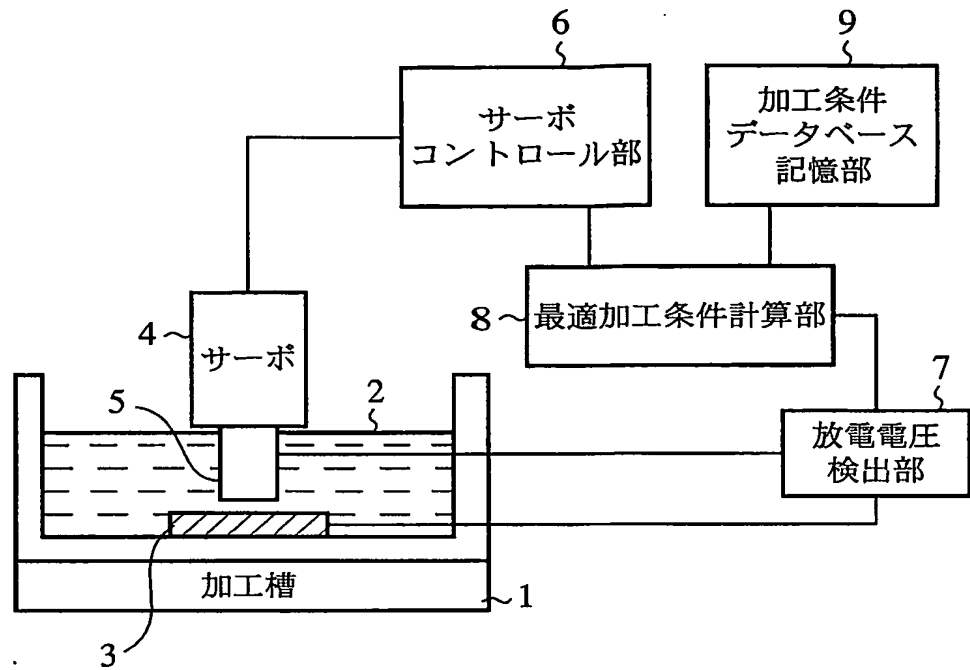
- [0015] 以上のように、この発明は、加工液の種類や劣化度に関係なく、加工速度、低電極消耗およびワーク面質の加工特性を満たす放電加工機の加工条件最適化方法を得るのに適している。



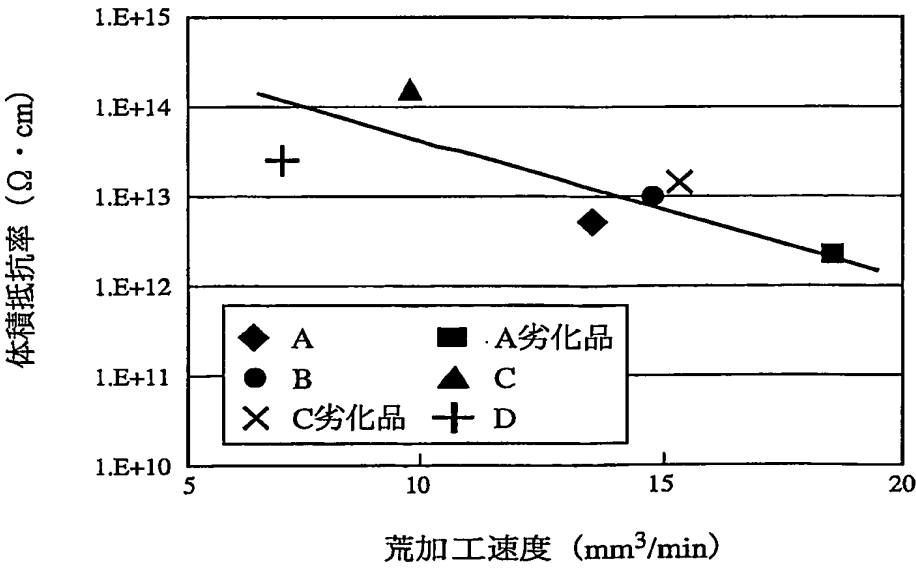
## 請求の範囲

- [1] 加工液を用いて被加工物を放電加工する放電加工機の加工条件最適化方法において、
- 放電加工時における一定時間内での平均的な放電電圧を検出する放電電圧検出工程と、
- 新品加工液を用いた放電電圧、新品加工液の体積抵抗率および放電電流の関係から、上記放電電圧検出工程により検出された放電電圧がその新品加工液を用いた放電電圧と同じになるための放電電流を求める放電電流演算工程と、
- 最適の加工条件となる放電電流、放電時間、休止時間およびサーボ基準電圧の関係から、上記放電電流演算工程により求められた放電電流に応じた放電時間、休止時間およびサーボ基準電圧を求める最適加工条件演算工程とを備えたことを特徴とする放電加工機の加工条件最適化方法。
- [2] 最適加工条件演算工程は、
- 以下の関係式から最適の加工条件を求めることを特徴とする請求項1記載の放電加工機の加工条件最適化方法。
- $$ON = A * I_p - B$$
- $$OFF = C * EXP(D * ON)$$
- $$SV = E * ON^F - F$$
- 但し、ONは放電時間、OFFは休止時間、SVはサーボ基準電圧、 $I_p$ は放電電流、 $A \sim F$ は係数でその適用範囲は、 $A=7 \sim 10$ 、 $B=1.0 \sim 3.5$ 、 $C=25 \sim 35$ 、 $D=0.01 \sim 0.02$ 、 $E=200 \sim 250$ 、 $F=0.2 \sim 0.4$ 、 $\wedge$ は累乗を示す。

[図1]

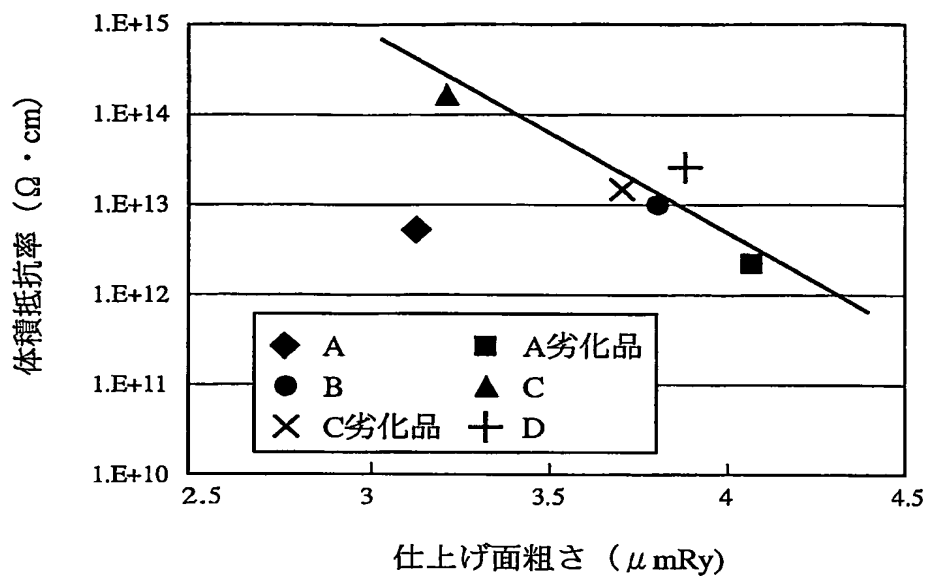


[図2]

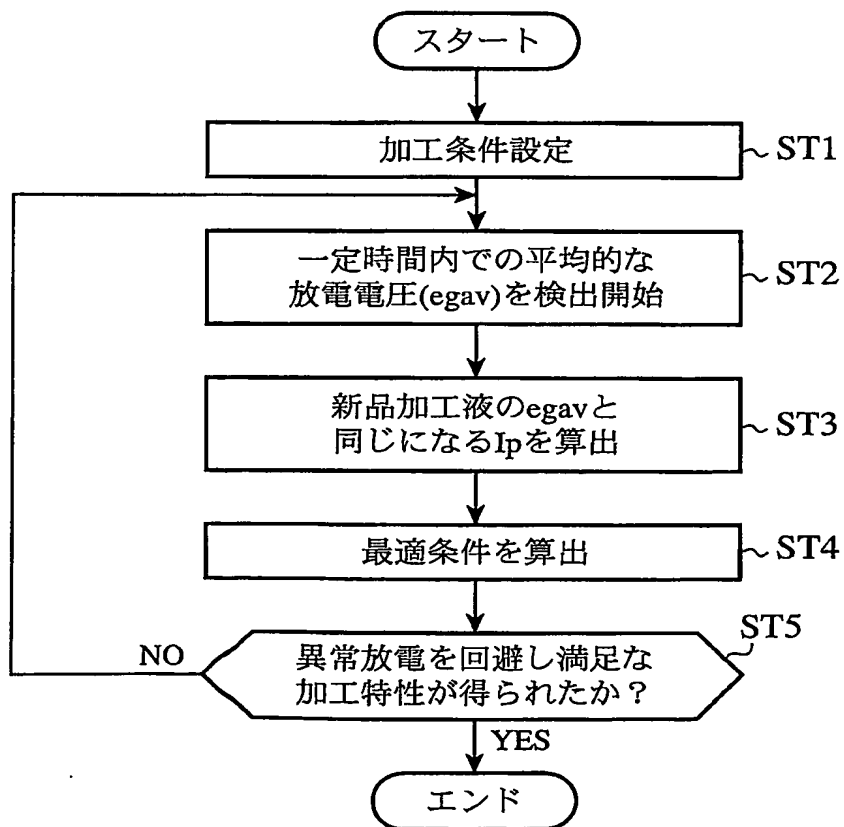


2/3

[図3]

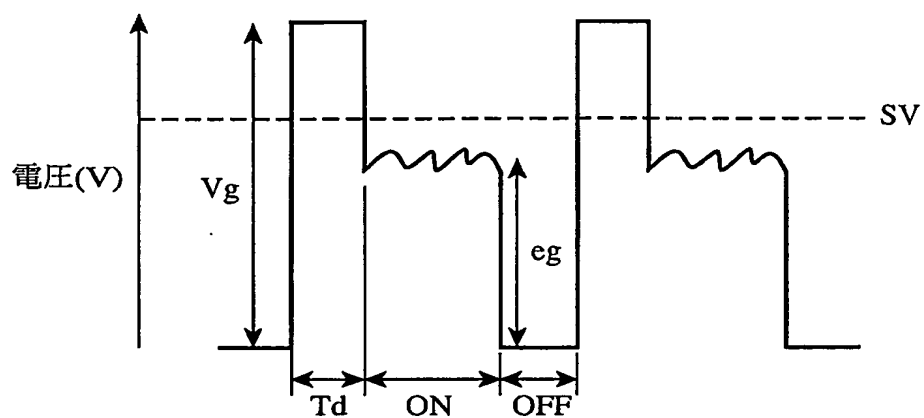


[図4]

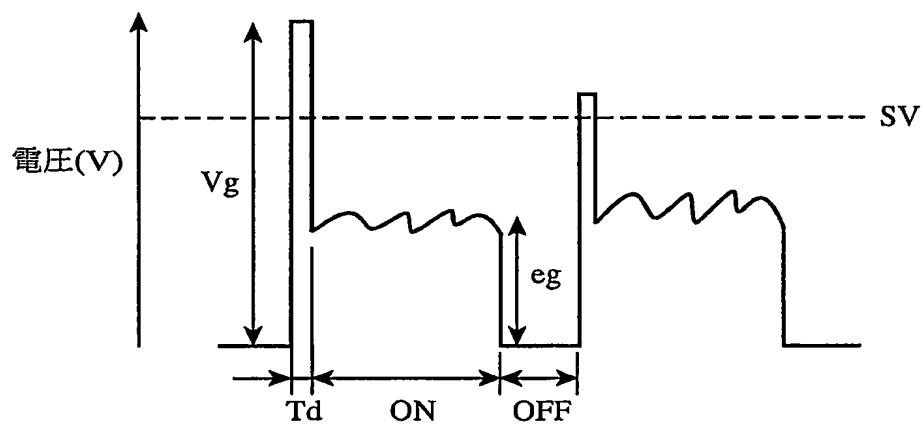


[図5]

(a) 正常放電時



(b) 異常放電時



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/000872

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
Int.Cl.<sup>7</sup> B23H1/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
Int.Cl.<sup>7</sup> B23H1/02

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched  
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2005  
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2005 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2005

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 62-287923 A (Mitsubishi Electric Corp.), 14 December, 1987 (14.12.87), Claims & US 4798929 A	1-2
A	JP 6-262435 A (Sodick Co., Ltd.), 20 September, 1994 (20.09.94), Claims (Family: none)	1-2

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
14 April, 2005 (14.04.05)

Date of mailing of the international search report  
10 May, 2005 (10.05.05)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.